MIYAKO-DORI
みやこ鳥
首都大学東京機関リポジトリ
Tokyo Metropolitan University Institutional Repository

Title	条件の異なるスクワット動作遂行中の下肢の運動学的解析
Author(s)	清水，洋治
Citation	
Issue Date	2014-03-25
URL	http://hdl.handle.net/10748/6763
DOI	
Rights	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	author

TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY
首都大学東京
http://www.tmu.ac.jp/

首都大学東京 機関リポジトリ

M13206

別紙様式1

修士学位論文

条件の異なるスクワット動作遂行中の下肢の運動学的解析

平成 26 年 1 月 8 日 提出

首都大学東京大学院
人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻
理学療法科学域

学修番号：12895603

氏 名： 清水 洋治

（ 指導教員名： 竹井 仁 教授 ）

【要旨】

本研究の目的は、3条件のスクワット動作中における下肢関節角度の関係、動作の違いが筋活動量へ及ぼす影響、股・膝・足関節間に一定の運動比率が存在するかを比較検討することとした。対象者は健常成人男性8名、平均年齢は23.0（21-27）歳であった。運動課題は3条件（①重心を真下におろす、②前方に重心を移動させる、③後方に重心を移動させる）での両脚スクワット動作とした。動作中の下肢関節角度は三次元動作解析装置で、筋活動量は表面筋電図で測定した。結果、すべての動作で股関節に対する膝関節・足関節の関節角度変化は常に一定の関係にあった。筋活動量は、動作開始から終了にかけて下肢前面の筋（大腿直筋、内側広筋、外側広筋、前脛骨筋）が有意に活動を増加させた。特に前脛骨筋は、③、①、②の順に有意に多く活動していた。また一定の運動比率が各動作で存在したが、比率の値は③が①・②よりも有意に低値で、動作による違いがみられた。
キーワード：スクワット、三次元動作解析装置、関節角度、表面筋電図、筋活動量

【はじめに】

スクワット動作は、一般的に立位の状態から下肢各関節の屈曲・伸展を繰り返す動作である。スクワット時にバーベルやダンベルを用いて行うことで筋力強化・筋肥大の効果もあるため、トレーニングとしても頻繁に用いられている。一方で、腰痛や下肢関節術後、廃用患者などに対する理学療法の場面でも荷重位での運動として用いることが多い。市橋ら[1]は、自重による片脚スクワット動作時の最大筋活動量は、膝関節60°屈曲位で内側広筋が37.1%、大腿直筋が32.0%、大腿二頭筋が27.2%であり、膝関節30°屈曲位で腓腹筋が36.0%と報告している。また池添ら[2]は、自重による体幹を垂直位に保ったスクワット動作時の最大筋活動量は、膝関節90°屈曲位かつ後方重心位で大腿直筋が42.9%、内側広筋が46.5%、外側広筋が51.3%、半膜様筋が21.9%、前脛骨筋が70.7%であり、膝関節30°屈曲位かつ前方重心位で大腿二頭筋が13.4%、腓腹筋が15.7%と報告している。筋力強化・筋肥大には最低でも最大筋力の60%以上は必要であると報告されているため、低頻度の自重によるスクワット動作では筋力強化の効果は低いと考えられる。しかし、下肢関節の本来の機能改善には、非荷重位による単関節運動のみではなく、荷重位による複数の関節運動を伴う協調的な機能改善が必要である[3]。非荷重位では著明な筋力低下がみられない場合でも、下肢関節疾患患者のスクワット動作では、股関節の内旋や膝関節の外反などを伴うことがよくみられる。これらの不適切な動作を改善するためにも協調性の改善は重要である。協調性の改善には最大筋力の40～50%の活動が必要とされており[4]、自重によるスクワット動作でもこ協調性の改善には有効であると考える。

スクワット動作は様々な動作パターンで運動することが可能であり、その動作パターンによって活動する筋群は異なってくる。中でも、重心位置の違いが筋活動に及ぼす影響[2,4,5]に関して、池添ら[2]は、大腿四頭筋や前脛骨筋は、足圧中心位置を後方位にして屈曲角度の大きいスクワット肢位でより高い筋活動量が得られたと報告している。しかし、スクワ

ットに関する報告の多く[2,5-9]は、あるスクワット肢位での静止性の筋活動量を示すものであり、動作遂行中における関節角度と筋活動量の推移を合わせて運動学的に検討した報告は少ない。よって、スクワット動作の動作遂行中の特性を捉えることは、スクワット動作を指導する際、特定の筋の活動を促し、運動の協調性を改善させる一助になると考える。

また足部を接地したスクワット動作は、主に股関節・膝関節・足関節を協調させて運動している。先行研究では、スクワット動作中において股関節と膝関節の屈曲角度を直線回帰すると速度によらない不変関係があったという報告[10]がある。また、別の動作中の身体分節間の不変関係に関しては、歩行中の下肢関節間の関係[11, 12]や腰椎・骨盤・大腿骨の関係[13-15]、リーチ動作における四肢・体幹の関係[16]、肩甲上腕リズム[17-19]、筆跡での上肢関節間の関係[20]など様々な報告がある。たとえば臨床では、股関節の動きが少なく腰部での屈曲あるいは伸展の代償を伴う腰痛患者や、肩甲上腕リズムが破綻している肩関節周囲炎の患者をよく経験する。これらは、身体分節間の不変関係が破綻すると、何らかの障害をきたす可能性を示唆する。よって、動作において身体分節間に不変関係が存在する場合、その関係が破綻したときどのような障害が生じるかを評価していく一助にもなると考える。

そこで本研究では、健常者を対象に3条件のスクワット動作中における股関節・膝関節・足関節の角度推移を測定し、同時に筋活動を測定することで、下肢の関節角度の変化にはどのような関係があるのか、動作の違いが筋活動量にどのような影響を及ぼすか、また各動作における身体分節間に一定の運動比率が存在するかを比較検討したので報告する。

【対象】

対象者は整形外科的既往のない健常成人男性8名で、平均年齢は23.0（21-27）[歳]、身長と体重の平均値（標準偏差）は、172.4（1.9）[cm]、61.1（4.7）[kg]であった。

本研究は首都大学荒川キャンパス研究安全倫理審査委員会の承認（承認番号：12088）を得た上で、被験者に研究趣旨について十分説明した後、書面での同意を得て実施した。

【方法】

1．運動課題

運動課題は、重心をそのまま真下におろすスクワット(Normal Squat：以下 NS)、前方に重心を移動させて行うスクワット(Forward Squat：以下FS)、後方に重心を移動させて行うスクワット(Backward Squat：以下BS)の3条件のスクワット動作とした（図1）。

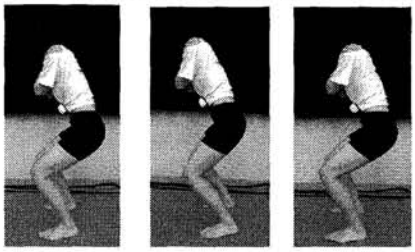

図1 3条件のスクワット動作（左からNS、FS、BS）

全ての課題において、両手を胸の前で組み両足を肩幅に開いた立位を開始肢位とし、膝関節と足部の向きはまっすぐにし、下腿の傾斜と並行になるよう体幹を前傾させながらしゃがみ込み、最終肢位はバランスが崩れない範囲でのスクワット肢位とした。加えてNSは、開始肢位から足底全面に重心がかかるようにそのまま真下にしゃがむよう指示した。FSは、開始肢位からつま先に徐々に重心が移動するよう指示し、動作中に踵を浮かして重心をつま先に移動しないよう注意した。BSは、開始肢位から踵に徐々に重心が移動するよう指示し、動作中につま先を浮かして重心を踵に移動しないよう注意した。

被験者には運動課題を事前に練習させた。その後、それぞれの動作を3回ずつ測定した。

2．測定方法

1）関節角度の測定

各動作中の下肢関節の位置は三次元動作解析装置（Vicon MX、VICON motion systems 社製；以下、VICON）を用いて、サンプリング周波数100Hzで赤外線反射マーカーの位置から経時的な空間変位座標を記録することで、関節角度を算出した。赤外線反射マーカーの位置は、VICONに設定されているPlug-in Gaitモデルに従い、被験者の両上前腸骨棘、上下腸骨棘、大腿外側中央、膝裂隙外側中央、下腿外側中央、外果、第二中足骨骨頭、踵骨の合計16箇所とした。マーカーは、直径20mmの赤外線反射マーカーを使用した。算出する関節角度は、股関節、膝関節、足関節とした。

各動作の開始肢位を股関節0°中間位、膝関節0°中間位、足関節0°中間位として、股関節の屈曲角度に対する膝関節と足関節の関節角度データを測定した。

2）筋活動量の測定

筋活動量については表面筋電図（多チャンネルテレメータシステムWEB-1000、日本電工社製）を用いて測定した。導出筋は、大腿直筋（Rectus femoris：以下RF）、内側広筋（Vastus medialis：以下VM）、外側広筋（Vastus lateralis：以下VL）、大腿二頭筋（Biceps femoris：以下BF）、半腱様筋（Semitendinosus：以下ST）、腓腹筋内側頭（Medial gastrocnemius：以下MG）、腓腹筋外側頭（Lateral gastrocnemius：以下LG）、前脛骨筋（Tibialis anterior：以下TA）の計8筋とした。ピッカー貼付部は事前に剃毛処理を行い、表面筋電図マニュアル[21]に従って各当該筋に貼付した。筋電図から測定された生波形を全波整流し、ノイズ除去の目的で2.6Hzのローパスフィルター、平滑化（Root Mean Square：以下RMS）による処理を行った。

表面筋電図は、電気信号によりVICONと同期させた。筋活動量は股関節が5°屈曲するごと、つまり全10相でそれぞれRMS値を算出し、各筋の最大等尺性収縮（maximum voluntary contraction、以下MVC）時のRMS値を100%としてそれぞれ正規化（%MVC）した。

MVCの測定にはサイベックス（CYBEX NORM、メディカ株式会社製）を用いて、5秒間の最大等尺性収縮を10秒間の休息を挟んで各3回ずつ実施した。測定方法は、サイベックスの

取扱説明書に準じて行った。RF、VM、VL の測定は、端坐位にて膝関節 90° 屈曲位から伸展させた。BF、ST の測定は、腹臥位にて膝関節 45° 屈曲位から屈曲させた。TA の測定は、背臥位で股・膝関節 45° 屈曲位にて足関節 0° 中間位から背屈させた。MG、LG の測定は、腹臥位にて足関節 0° 中間位から底屈させた。

サイベックスの検査台とピッカーとの接触を避けるため、MVC の測定の順番は、底屈、背屈、膝屈曲、膝伸展とし、初めは MG と LG のみを貼付した状態から、各運動での測定が終わる度にそれぞれの該当筋にピッカーを追加貼付した。膝伸展 MVC 測定終了後には、すべてのピッカーが貼付された状態となり、そこから各スクワット動作の測定に移行した。

3）統計処理

統計処理は、SPSS（ver. 12.0J）を使用した。事前に、筋活動量の正規化の方法の再現性を確認するため、再テスト法による検者内信頼性 ICC（1,1）を被験者 5 人の日をあけて 2 回測定したデータから求めた。結果は、すべての筋で 0.683～0.942 となり、数値の信頼性が確認できた。

各動作における股関節に対する膝関節・足関節の関係を検討するため、単回帰分析を用いた。また、各動作における相毎の筋活動量（%MVC）に対して動作による影響と相（股関節の屈曲角度）による影響を確認するため、反復測定による二元配置分散分析および多重比較検定（Scheffe 法）を用いた。

さらに、各動作における相毎の膝関節角度/股関節角度の比率（膝/股比）と足関節角度/股関節角度の比率（足/股比）を算出し、比率に対して動作による影響と相による影響を確認するため、反復測定による二元配置分散分析および多重比較検定（Scheffe 法）を用いた。

すべての統計の有意水準は 5%とした。

【結果】

1）各動作における股関節屈曲角度に対する膝関節屈曲角度・足関節背屈角度の関係

3 つのスクワット動作において、全被験者は股関節屈曲 50° までは共通して到達していた。そこで、安静立位姿勢（股関節・膝関節・足関節 0° 中間位）を開始肢位、股関節が 50° まで屈曲した際を終了肢位とし、股関節が 5° 屈曲するごとの膝関節角度と足関節角度のデータを解析した。

股関節と膝関節の関係（図 3）は、NS：$y=1.05x+0.41$, $R^2=0.999$, $p<0.001$、FS：$y=1.08x-0.24$, $R^2=0.999$, $p<0.001$、BS：$y=0.91x-1.10$, $R^2=0.997$, $p<0.001$ であった。

股関節と足関節の関係（図 4）は、NS：$y=0.39x+0.05$, $R^2=0.997$, $p<0.001$、FS：$y=0.44x-0.24$, $R^2=0.999$, $p<0.001$、BS：$y=0.27x-0.62$, $R^2=0.993$, $p<0.001$ であった。

また股関節 50° 屈曲位に到達した時点での膝関節・足関節の角度は、反復測定による一元配置分散分析より、両関節とも BS が NS・FS と比較して有意に小さかった（表 1）。

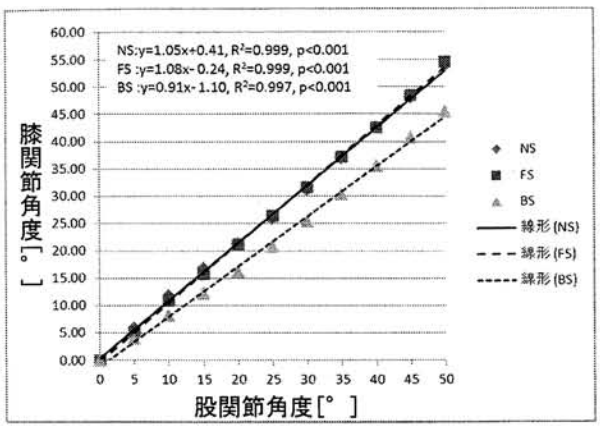

図 3　股関節角度に対する膝関節角度

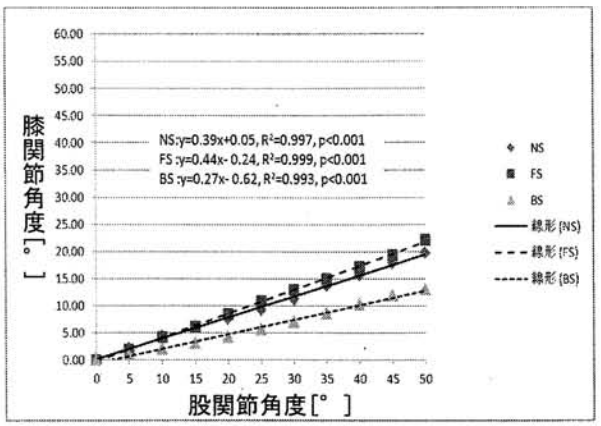

図 4　股関節角度に対する足関節角度

表 1　股関節 50° 屈曲位に到達した時点の膝関節・足関節の平均角度（標準偏差）[°]

スクワット動作	膝関節	足関節
NS	53.76 (9.50)	19.70 (5.27)
FS	54.49 (8.73)	22.15 (5.85)
BS	45.44 (13.25)	13.05 (8.78)

*：p<0.05

2）各動作における筋活動量

各動作におけるすべての筋活動量を表 2 に示した。

大腿直筋、内側広筋、外側広筋では、動作による主効果と交互作用はみられなかったが、相（股関節屈曲角度）による主効果を認めた。大腿直筋の相による主効果（F=6.032, p<0.005）は、第 1 相より第 8～10 相、第 2 相より第 9、10 相、第 3～6 相より第 10 相で有意に筋活動量が多かった。内側広筋の相による主効果（F=12.846, p<0.001）は、第 1 相より第 6～10 相、第 2、3 相より第 7～10 相、第 4 相より第 9、10 相、第 5、6 相より第 10 相で有意に筋活動量が多かった。外側広筋の相による主効果（F=31.725, p<0.001）は、第 1 相より第 5～10 相、第 2、3 相より第 6～10 相、第 4、5 相より第 8～10 相、第 6、7 相より第 9、10 相で有意に筋活動量が多かった。

前脛骨筋では、交互作用はみられなかったが、動作による主効果と相による主効果を認めた。相による主効果（F=11.624, p<0.001）は、第 1 相より第 6～10 相、第 2 相より第 7～10 相、第 3 相より第 8～10 相、第 4 相より第 9、10 相、第 5、6 相より第 10 相で有意に筋活動量が多かった。動作による主効果（F=3.833, p<0.005）は、FS より NS、NS より BS で有意に筋活動量が多かった。

その他、大腿二頭筋、半腱様筋、腓腹筋内側頭・外側頭に関しては、動作または相による主効果や交互作用はみられなかった。

表2　各動作における相毎の平均筋活動量（上段）と標準偏差（下段）[%]

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	動作の主効果
RF	NS	4.47	5.33	5.07	5.63	5.69	6.64	7.27	8.53	8.18	10.36	n.s.
		0.69	1.81	0.97	1.87	2.29	4.53	4.62	5.98	3.85	4.97	
	FS	4.85	4.99	6.70	5.63	6.02	6.59	7.04	7.95	8.67	9.01	
		1.12	1.37	4.52	2.09	2.30	3.75	3.12	5.24	5.34	5.11	
	BS	5.43	5.75	6.81	6.69	7.47	7.85	11.75	11.16	11.97	14.22	
		1.76	2.44	3.25	3.07	3.91	5.27	10.06	9.30	10.50	14.17	
相の主効果		<8-10	<9-10	<10								
VM	NS	10.95	12.71	14.26	15.84	17.56	20.40	22.46	22.94	23.56	28.38	n.s.
		4.98	5.02	5.56	6.85	5.92	8.62	11.77	12.30	8.61	14.87	
	FS	8.24	12.63	15.41	16.06	16.70	16.42	21.41	19.78	18.59	21.37	
		2.63	4.95	6.89	5.44	4.71	4.65	9.04	7.52	5.78	8.43	
	BS	7.72	8.24	10.43	10.69	10.93	15.22	16.83	18.28	19.55	21.14	
		2.92	2.71	4.79	2.77	3.62	8.92	7.75	6.30	6.79	7.55	
相の主効果		<6-10	<7-10	<9-10	<10							
VL	NS	6.08	7.37	7.37	9.93	14.39	13.28	15.85	20.08	20.17	21.83	n.s.
		1.95	2.61	2.61	4.33	7.92	4.95	7.54	8.12	7.84	6.96	
	FS	7.48	9.21	9.21	12.05	11.71	14.88	14.92	17.70	18.89	18.44	
		1.20	4.35	4.35	6.22	3.93	5.80	6.43	6.81	5.25	4.25	
	BS	6.64	7.29	7.29	9.80	8.59	10.90	11.14	14.24	17.73	21.43	
		1.63	2.68	2.68	2.54	2.60	4.11	4.77	4.59	9.81	12.42	
相の主効果		<5-10	<6-10	<8-10	<9-10							
BF	NS	2.78	2.72	3.11	2.99	2.88	3.17	2.78	3.10	3.05	2.97	n.s.
		2.08	2.04	2.12	1.83	1.57	2.01	1.95	2.02	1.97	1.67	
	FS	3.60	3.15	3.51	3.34	3.45	3.36	3.56	3.19	3.32	3.15	
		2.69	2.23	2.17	2.45	2.60	2.54	2.53	2.21	2.49	1.99	
	BS	3.03	2.73	2.78	2.82	2.79	3.35	3.51	3.86	3.78	3.47	
		2.34	2.15	1.34	1.72	1.46	2.27	2.54	2.29	2.03	1.86	
相の主効果												
ST	NS	6.04	6.24	6.79	6.78	7.38	7.36	9.49	9.72	7.86	8.82	n.s.
		3.32	4.23	3.96	4.74	5.23	6.29	8.22	9.44	6.25	8.37	
	FS	8.15	8.81	8.92	10.03	9.31	8.92	9.65	8.50	9.26	8.93	
		6.22	7.55	7.09	7.20	6.63	6.33	7.23	5.61	7.39	6.00	
	BS	8.08	9.09	9.58	9.36	9.04	9.58	9.49	9.55	8.70	9.97	
		8.14	10.13	10.75	10.28	9.75	11.43	10.08	12.10	9.66	10.42	
相の主効果												
MG	NS	3.87	3.59	4.38	3.92	4.22	3.97	4.27	4.12	4.24	4.56	n.s.
		2.78	2.29	4.24	2.97	3.86	2.60	3.37	2.68	2.46	3.46	
	FS	8.11	7.13	8.68	7.69	8.47	8.34	8.48	8.41	8.37	8.94	
		6.25	5.86	7.95	6.34	7.29	7.68	6.80	7.87	7.17	7.44	
	BS	5.88	6.07	6.47	6.41	5.99	6.58	5.95	6.33	5.89	7.13	
		5.15	6.48	6.47	6.24	6.95	6.18	4.99	5.80	5.54	7.61	
相の主効果												
LG	NS	5.52	5.72	5.54	5.53	5.92	5.77	5.78	5.75	5.70	6.22	n.s.
		5.90	6.04	5.76	5.79	5.95	5.47	5.73	5.94	5.41	5.79	
	FS	9.66	9.25	8.82	8.47	8.99	9.49	8.91	9.24	8.93	9.21	
		9.57	8.68	7.34	7.82	8.33	8.82	7.31	9.39	6.67	7.22	
	BS	6.10	6.71	6.54	5.86	5.75	6.15	6.64	6.45	6.67	7.28	
		5.76	6.23	6.56	5.72	5.60	5.48	5.56	6.06	5.59	5.94	
相の主効果												
TA	NS	6.31	6.16	7.24	9.19	14.16	13.81	17.02	20.79	21.10	26.16	BS >NS >FS
		4.49	3.65	4.03	7.38	9.80	10.63	14.55	21.63	20.38	22.57	
	FS	3.01	4.17	5.01	8.54	8.42	9.11	10.16	11.72	12.33	13.66	
		1.38	3.87	5.87	12.67	13.50	15.11	15.86	16.04	13.36	14.44	
	BS	8.38	14.11	13.83	15.87	17.34	24.09	25.68	25.95	30.11	37.01	
		4.14	11.44	10.27	8.58	8.66	9.38	13.32	11.09	12.74	15.72	
相の主効果		<6-10	<7-10	<8-10	<9-10	<10						

※相による主効果の見方：(例) RF の第1相より第8-10相が有意に大きい。　すべて $p<0.05$

3）各動作における膝/股比・足/股比

各動作における膝/股比・足/股比を表3に示した。

膝/股比・足/股比ともに相による主効果と交互作用はみられなかったが、動作による主効果（膝/股比：F=25.053, p<0.001、足/股比：F=19.904, p<0.001）を認めた。つまり、すべての動作で相間には有意差はなかったが、動作間では有意差があった。多重比較の結果、両比ともNS・FSに対してBSが有意に低値であった。

膝/股比に関しては、NS：1.04≦比率≦1.19，平均比率は 1.09、FS：1.05≦比率≦1.09，平均比率は1.07、BS：0.79≦比率≦0.91，平均比率は0.85であった。足/股比に関しては、NS：0.37≦比率≦0.43，平均比率は0.40、FS：0.39≦比率≦0.44，平均比率は0.42、BS：0.20≦比率≦0.26，平均比率は0.23であった。

表3　各動作における膝/股比と足/股比

	膝/股比			足/股比		
	NS	FS	BS	NS	FS	BS
1	1.19	1.05	0.79	0.43	0.39	0.20
2	1.18	1.09	0.82	0.43	0.42	0.20
3	1.12	1.06	0.81	0.41	0.41	0.21
4	1.06	1.06	0.81	0.38	0.42	0.21
5	1.04	1.06	0.83	0.37	0.43	0.23
6	1.04	1.05	0.85	0.37	0.43	0.23
7	1.05	1.06	0.87	0.39	0.43	0.25
8	1.06	1.06	0.89	0.39	0.43	0.26
9	1.07	1.08	0.91	0.40	0.43	0.26
10	1.08	1.09	0.91	0.39	0.44	0.26
平均値	1.09	1.07	0.85	0.40	0.42	0.23
標準偏差	0.06	0.01	0.04	0.02	0.02	0.03
最大値	1.04	1.05	0.79	0.37	0.39	0.20
最小値	1.19	1.09	0.91	0.43	0.44	0.26
動作による主効果	NS・FS＞BS			NS・FS＞BS		

p<0.05

【考察】

1）各動作における股関節の角度変化に対する膝関節・足関節の角度変化について

今回の実験では、被験者にはバランスが崩れない範囲までのスクワット動作を行わせた。その際の最終的な股関節屈曲平均角度（標準偏差）は69.0（9.8）°であり、被験者間にばらつきがあった。たとえば、立ち上がり動作では股関節・膝関節 90° 屈曲位、足関節 0° 中間位を開始肢位として立ち上がり動作を行わせ、立位姿勢を終了肢位とするという明確

な基準を設定しやすいが、スクワット動作では基準が設定しづらい。今回実施した 3 つのスクワット動作において、全被験者は股関節屈曲 50° までは共通して到達していた。そこで各スクワット動作において、安静立位姿勢（股関節・膝関節・足関節 0° 中間位）を開始肢位、股関節が 50° まで屈曲した際を終了肢位とし、股関節が 5° 屈曲するごとの膝関節角度と足関節角度のデータを解析した。

結果は、すべてのスクワット動作で股関節屈曲角度に対する膝関節屈曲角度・足関節背屈角度の関係を高い決定係数（$0.994 \leqq R^2 \leqq 0.999$）の直線回帰式で示すことができた。股関節と膝関節の直線回帰式の勾配は、NS が 1.05、FS が 1.08、BS が 0.91 であり、BS が最も低値であった。股関節と足関節の直線回帰式の勾配は、NS が 0.39、FS が 0.44、BS が 0.27 であり、股関節と膝関節の直線回帰式の勾配と同様、BS が最も低値であった。

表 1 より股関節 50° 屈曲位に到達した終了肢位での膝関節・足関節の関節角度では、NS と FS 間には統計的有意差はなかった。しかし、NS・FS と BS 間では、膝関節屈曲角度と足関節背屈角度は BS が NS・FS と比較して有意に低値であった。直線回帰式は、股関節屈曲角度に比例した膝関節・足関節の関節角度変化量を表しているため、回帰式の勾配は各動作における終了肢位での関節角度の違いを反映している。よって、終了肢位での各関節角度が有意に低値であった BS は、勾配に関しても NS・FS と比較して低値となったと考えた。

2）各動作における筋活動量について

大腿直筋、内側広筋、外側広筋については、交互作用と動作による主効果はみられなかったが、相による主効果がみられた。すべて股関節の屈曲角度が増すにつれて筋活動量が大きくなっていった。動作による差がなかったため、スクワット動作時の最大%MVC をまとめると、大腿直筋で 9.0～14.2%、内側広筋で 21.1～28.4%、外側広筋で 18.4～21.8%であった。重心位置の異なる条件下での体幹を垂直位に保ったスクワット肢位における筋活動量に関する先行研究[2)]では、膝関節 30° 屈曲位のスクワット肢位で、大腿直筋が前方重心位で 12.3%、重心中間位で 12.2%、後方重心位で 15.6%、内側広筋が前方重心位で 9.4%、重心中間位で 10.6%、後方重心位で 15.6%、外側広筋が前方重心位で 8.1%、重心中間位で 10.9%、後方重心位で 17.7%であった。また、膝関節 60° 屈曲位では、大腿直筋が前方重心位で 14.5%、重心中間位で 16.8%、後方重心位で 22.7%、内側広筋が前方重心位で 15.2%、重心中間位で 24.1%、後方重心位で 32.5%、外側広筋が前方重心位で 15.3%、重心中間位で 24.1%、後方重心位で 32.5%であったと報告している。この報告では重心が後方に移動したスクワット肢位で有意に筋活動量が大きく、また、膝関節の屈曲角度が増すにつれて、筋活動量が大きくなっていた。スクワット肢位を深くしていくと筋活動量が増すという点においては今回の実験結果と同様であるといえる。しかし、今回の実験で行った重心位置の条件をかえた 3 つのスクワット動作においては、上記の 3 筋の筋活動量は動作間に有意差はなかった。これは、スクワット動作時の体幹の傾斜角度（股関節の屈曲角度）の影響によると考えた。先行研究のように体幹を垂直位に保ったまま重心を後方に移

動させると、股関節の伸展トルクと膝関節の屈曲トルクが増加し、大腿直筋や広筋群の遠心性の収縮が増すと考えられる。一方、下腿の傾斜と体幹の傾斜をなるべく同じようにスクワット動作をさせた今回の実験では、先行研究と異なり、重心を後方に移動させた場合でも有意な筋活動量の増加はみられなかったと考えた。

またスクワット動作において、広筋群の活動が大腿直筋より有意に活動するという報告がいくつかある[22-23]。今回の実験でも先行研究と同様に、大腿直筋より広筋群の活動量の方が大きかった。大腿直筋は二関節筋であり、股関節の屈曲と膝関節の伸展に作用する[24]ため、スクワット動作では股関節の屈曲時に大腿直筋が活動するとも考えられる。しかし、スクワット動作では股関節屈曲に対しては大殿筋による遠心性収縮が働く[25]。そのため、スクワット動作では大腿直筋は、股関節屈曲時には活動しにづらく、広筋群よりも筋活動量が小さかったと考えた。

前脛骨筋については、交互作用はみられなかったが、相による主効果と動作による主効果がみられた。相による主効果は、大腿直筋、内側広筋、外側広筋と同様、股関節の屈曲角度が増すにつれて筋活動量が大きくなっていった。各スクワット動作中の最大%MVC は、NS が約 25%、FS が約 15%、BS が約 35%で、最も BS で筋活動量が大きかった。これは、重心が後方に移動することで、底屈モーメントが増加し、前脛骨筋の遠心性収縮の活動が増加したためと考えた。

今回の実験では、スクワット動作の開始から終了にかけて、下肢の前面に位置する大腿直筋や内側広筋、外側広筋、前脛骨筋の活動が有意に増加したが、後面に位置する大腿二頭筋や半腱様筋、腓腹筋の活動は動作を通じて有意な変化はないことが確認できた。ハムストリングスは、スクワット動作では一定の強度で働いていることが重要であると報告されており[25]、今回の実験では大腿二頭筋が MVC の 3%程度、半腱様筋が MVC の 9%程度で、動作を通じて一定の筋活動量を維持していた。また、スクワット動作時は腓腹筋よりヒラメ筋がより活動するとされている[26]。ヒラメ筋は足関節底屈に作用する単関節筋であり、腓腹筋は膝関節屈曲と足関節底屈に作用する二関節筋である[24]ことから、スクワット動作時の下腿の前傾に対する遠心性の活動はヒラメ筋が主に担っていると考えた。今回の実験では、ヒラメ筋の筋活動量は測定していなかったが、腓腹筋は動作を通じて MVC の 6～7%程度の一定の筋活動量を示した。

3）各動作における運動比率について

3 条件のスクワット動作における股関節屈曲角度に対する膝関節屈曲角度、足関節背屈角度の比率は動作を通じて常に一定の関係にあった。膝/股比の平均値は、NS が 1.09、FS が 1.07、BS が 0.85 であった。足/股比の平均値は、NS が 0.40、FS が 0.42、BS が 0.23 であった。比率の値に関しては、統計学的に 3 つのスクワット動作間において有意差がみられ、両比とも BS が NS・FS に比べて有意に低値であった。これより、動作を通じた比率はどの動作でも一定ではあるが、その比率の値に関しては、NS・FS と BS 間に違いがあることが示

唆された。これは、回帰直線の考察でも述べたように、BS ではNS・FS と比較して、股関節50° 屈曲位における膝関節と足関節の関節角度が有意に小さかったことで、股関節屈曲角度に対して膝関節屈曲角度が小さく、かつ足関節背屈も小さくなったと考えた。

ここで、NS・FS では、股関節屈曲角度と膝関節屈曲角度の比がおおよそ 1、股関節屈曲角度と足関節背屈角度の比がおおよそ 0.4 であるため、股関節が 5° 屈曲すれば、膝関節は5° 屈曲し、足関節は 2° 背屈することが示唆された。

一方 BS に関しては、股関節屈曲角度と膝関節屈曲角度の比はおおよそ 0.8、股関節屈曲角度と足関節背屈角度の比がおおよそ 0.2 であるため、股関節が 5° 屈曲すれば、膝関節は4° 屈曲し、足関節は 1° 背屈することが示唆された。

これまでの考察より、3 条件のスクワットでは筋活動量や下肢関節角度の変化に違いがみられたが、すべての動作において下肢の 3 つの関節（股関節、膝関節、足関節）の関節運動は常に一定の関係にあった。したがって、この 3 つの関節間の運動には何らかの協調性を保つ要素が存在すると考えた。

【本研究の臨床的意義】

今回行ったスクワット動作においては、股関節、膝関節、足関節が常に一定の比率で運動することがわかった。NS・FS では、股関節が 5° 屈曲すれば、膝関節も 5° 屈曲し、足関節は 2° 背屈することが示唆された。また BS では、股関節が 5° 屈曲すれば、膝関節は 4° 屈曲し、足関節は 1° 背屈することが示唆された。今回行ったスクワット動作に主に関与している筋は、すべて下肢の前面の筋であった。そのため、運動比率が破綻した場合、大腿直筋や内側広筋、外側広筋、前脛骨筋の活動に何らかの問題が生じている可能性が示唆されると考える。また、スクワット動作の動作条件による違いから、NS や FS と比較して BS では、前脛骨筋の活動がより大きいことがわかった。そのため、3 条件のスクワットを行わせ、BS で明らかに運動比率に破綻がみられる場合は、前脛骨筋の関与が優先的に疑われると考える。

【結論】

今回行ったスクワット動作では、動作開始から終了にかけて下肢前面の筋（大腿直筋、内側広筋、外側広筋、前脛骨筋）が有意に活動を増加させ、股関節の屈曲角度が増すにつれて筋活動量も増加するという規則的な変化がみられた。とりわけ前脛骨筋は、FS よりも NS で、その NS よりも BS で有意に活動していた。運動比率に関しては、すべてのスクワット動作で股関節、膝関節、足関節は動作を通じて常に一定であった。しかし、比率の値は BS が NS・FS よりも低値であり、動作による違いがみられた。

【引用文献】

1）市橋則明，吉田正樹，篠原英記，他：スクワット動作の筋電図学的考察．理学療法学，

19（5）：487-490，1992.
2）池添冬芽，市橋則明，森永敏博：スクワット肢位における足圧中心位置の違いが下肢筋の筋活動に及ぼす影響．理学療法学，30（1）：8-13，2003.
3）岡西哲夫：筋力増強の変遷とその背景．PT ジャーナル，35：379-386，2001.
4）竹井仁：メディカルトレーニングセラピー．奈良勲，黒沢和生，竹井仁編集，系統別治療手技の展開，第 2 版：470-486，協同医書出版，東京，2007.
5）真鍋芳明，横澤俊治，尾縣貢：動作形態の異なるスクワットが股関節と膝関節まわりの筋の活動および関節トルクに与える影響．体力科学，53：321-336，2004.
6）Gaston Ariel Nishiwaki，Yukio Urabe，Kosuke Tanaka：EMG Analysis of Loweer Extremity Muscles in Three Different Exercises. J Jpn Phys Ther Assoc, 9:21-26, 2006.
7）Valdeci C D，Gil L A，Marcos D，et al.：Kinematic Kinetic and EMG patterns during dowonward squatting. Journal of Electromyoraphy and Kinesiology18：134-143，2008.
8）Felipe S J，Maira R R，Marcio M，et al.：Optimization proposal for squatting exercise-An EMG analysis. J Phys Educ Sport Manag，2（4），37-43，2011.
9）Yiu-Ming Wong，Rachel K S，Christopher M P：The VMO-VL activation ratio while squatting with hip adduction is influenced by the choice of recording electrode. Journal of Electromyoraphy and Kinesiology23：443-447，2013.
10）田上義之：スクワット動作における協調性．東北文化学芸大学 リハビリテーション学科 紀要 第 2 巻 第 1 号：27-37，2006.
11）F Lacquaniti，R Grasso，M Zago：Motor Patterns in Walking. News Physiol. Sci, 14：168-174，1999.
12）R Grasso，L Bianchi，F Lacquaniti：Motor Patterns for Human Gait-Backward Versus Forward Locomotion. J Neurophysiol 80：1868-1885，1988.
13）竹井仁，根岸徹，中俣修，他：MRI による股関節屈曲運動の解析．理学療法学 29（4）：113-118，2002.
14）竹井仁：仙腸関節はどれだけ可動するのか．理学療法ジャーナル 40(6)：477-486，2006.
15）竹井仁，宇佐英幸，根岸徹，他：MRI（磁気共鳴画像）による背臥位での両股関節屈曲運動の解析 - 仙腸関節・腰仙関節・腰椎椎間関節の関与について - ．理学療法学 33（7）：363-369，2006.
16）James S.Thomas，Daniel M. Corcos，Ziaul Hasan：Kinematic and Kinetic Constraints on Arm, Trunk, and Leg Segments in Target-Reaching Movements. J Neurophysiol，93：352-364，2005.
17）Codman E A：The shoulder. Thomas Todd，Boston，32-64，1934.
18）Inman V T，Saunders J B M，Abbott L C：Observations of the function of the shoulder joint. J Bone Joint Surg，26A：1-30，1944
19）竹井仁，根岸徹，後藤保正，他：MRI による肩関節屈曲運動の解析．日本保健科学学会

誌 14 (1) : 13-23, 2011.
20) F Lacquaniti, G Ferrigno, A Pedotti, et al. : Changes in Spatial Scale in Drawing and Handwriting-Kinematic Contributions by Promaximal and Distal Joints. J Neurophysiol, 7 (3) : 819-828, 1987.
21) 下野俊哉：表面筋電図マニュアル 基礎・臨床応用. 酒井医療株式会社, 東京, 2010.
22) Escamilla R F, Fleisig G S, Zheng N, et al. : Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. Med Sci Sports Exerc 33 : 1552-1566, 2001.
23) Hwang S, Kim Y, Kim Y. Lower extremity joint kinetics and lumbar curvature during squat and stoop lifting. BMC Musculoskel Disord 2 : 10-15, 2009.
24) 竹井仁：触診機能解剖カラーアトラス 下 筋・血管・神経. 文光堂, 東京, 2008.
25) Brad J S : Squatting Kinematics and Kinetics and their application to exercise performance. J Strength Cond Res, 24(12) : 3497-3506, 2010.
26) Toutoungi D E, Lu T W, Leardini, et al. : Cruciate ligament forces in the human knee during rehabilitation exercises. Clin Biomech, 15 : 176-187, 2000.

Abutract

Purpose: This study's aim were to consider the relationship of the joint angle of lower extremity in the squat of the three conditions, how the differences in the each squats affect the amount of muscle activity during the each squats, and whether there are the constant ratio between the body segments in the each squats.

Methods: The subjects were healthy adult 8 males, average age : 23.0 (21-27) years old. The motor task was squat motions of the three conditions that firstly was descending the center of gravity beneath (A), secondly was moving the center of gravity forward(B), thirdly was moving the center of gravity to the rear(C). At that time, we measured the lower limb joint angle by three dimensional motion analysis device and the amount of muscle activity in the surface EMG.

Results: the muscles on the front of the lower extremities (rectus femoris, vastus medialis, vastus laialis, tibial anterior) were involved mainly in all the squats. Tibial anterior, in particular, was working significantly in the order of C,A,B. For the exercise ratio, the value of the ratio of C was significantly lower than the A and B.

Conclusion: The relationship bitween hip, knee and ankle joints was always constant through the squats. But there was the difference due to the motion conditions in the ratio.

Keywords: squat, three dimensional motion analysis device, joint angle, surface EMG, amount of muscle activity